

干旱区植物群落土壤水盐及根系生物量的空间分布格局

王 珺¹, 刘茂松^{1,*}, 盛 晟¹, 徐 驰¹, 刘小恺¹, 王汉杰²

(1. 南京大学生命科学学院, 南京 210093; 2. 中国科学院东亚区域气候-环境重点实验室, 北京 100085)

摘要:为研究干旱区群落根系生物量的空间分布格局及其与土壤中水分、盐分的关系,以宁夏沙湖地区的沙枣-芨芨草群落为研究对象,以立木冠幅的 20% 为带宽,由立木向空地依次划分 8 个冠幅梯度带(Z1-Z8),采用分层挖掘法对群落中植物根系生物量密度、土壤含水率、土壤溶液电导率的垂直与水平分布特征进行了研究。结果表明:随着离沙枣立木距离的增加,群落中植物根系生物量密度逐渐减小,总根系生物量密度较高层次的埋深渐次增加,各层次土壤含水率及不同土壤层次间土壤含水率的差异性依次变大,表浅层土壤溶液电导率趋势性上升,但在较深层次,位于立木冠层垂直投影区边缘的 Z3 带的电导率最低,向沙枣立木方向、空地方向两侧递增;同时发现,群落中两种主要物种间根系生物量密度较高的土壤层次总体上相互分离,离立木较近各带出现下层土壤含水率低于上层的逆含水率梯度层。总体上,群落中地下生物量、土壤水分、土壤溶液电导率的垂直与水平分布特征揭示,植物根系吸水与土壤水分蒸发是影响土壤剖面中盐分、水分分布与运动的两个主导因子。

关键词:根系生物量;土壤含水率;土壤溶液电导率;梯度分布;宁夏

文章编号:1000-0933(2008)09-4120-08 中图分类号:Q142, Q945, Q948 文献标识码:A

Spatial distributions of soil water, salts and roots in an arid arbor-herb community

WANG Jun¹, LIU Mao-Song^{1,*}, SHENG Sheng¹, XU Chi¹, LIU Xiao-Kai¹, WANG Han-Jie²

1 School of Life Science, Nanjing University, Nanjing 210093, China

2 Laboratory of Regional Climate-Environment Research for Temperate East Asia, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(9): 4120 ~ 4127.

Abstract: To understand the spatial distributions of root systems and their potential controlling factors such as soil water content (SWC) and salinity in the arid regions of China, we conducted a field study in an *Elacagnus angustifolia*-*Achnatherum splendens* community developed on saline-alkali soils in Sand Lake, Ningxia Autonomous Region of the Northwest China. Specifically, eight locations from the base of *E. angustifolia* individuals to the adjacent open area were placed in a 50 m × 50 m plot. The width of the gradient was set to be 20% of the crown diameter. We excavated five soil pits along the transect to measure root biomass, SWC and salinity at 5 vertical depths. We found the changes of the following variables as one moves away from the plant base: decreased mean root biomass density (RMD) in each soil

基金项目:国家重大基础研究资助项目(2006CB400505);国家自然科学基金资助项目(40675040)

收稿日期:2008-01-20; 修订日期:2008-04-28

作者简介:王珺(1983~),女,江苏高邮人,硕士生,主要从事群落生态学研究. E-mail: niqq333@gmail.com

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: mslu@nju.edu.cn

Foundation item: The project was financially supported by Key Project of Chinese National Programs for Fundamental Research of China (No. 2006CB400505); National Natural Science Foundation (No. 40675040)

Received date: 2008-01-20; **Accepted date:** 2008-04-28

Biography: WANG Jun, Master candidate, mainly engaged in community ecology. E-mail: niqq333@gmail.com

layer, lowered SWC in each layer, and elevated variation among the layers and the electric conductivity (EC) increases in top layers. However, the EC in deep soil layers showed a concavity pattern with a minimal value at the edge of crowns. Interestingly, we also found that the soil layers with the highest RMD of the two dominant species tended to be vertically separated; and there existed a vertically-reversed change of SWC near the plant base. Our field data on the horizontal and vertical distributions of belowground biomass, SWC and EC supported us with a preliminary conclusion that plant absorption and evaporation are the two primary drivers affecting the distribution and movements of salts and water in the soil.

Key Words: root biomass; soil water content; electric conductivity; gradient distribution; Ningxia Autonomous Region

在蒸散发大于降水补充的干旱、半干旱区,土壤易溶盐类随土壤水分的运动而迁徙和积累,导致盐分在土壤表层的积累并形成盐渍化^[1~3]。土壤盐渍化不仅严重损害土壤的生产潜力,而且盐分积累也会破坏植物生长的环境,导致植物群落退化^[4,5],并对群落中各物种间相互关系产生影响;而植物也可通过群落结构、种群格局、种间关系等进行适应,并对环境条件产生影响^[6],但相关研究多集中于群落的地上部分,如种群分布格局^[7]、群落分布与环境之间的相互关系^[8]等,对群落地下部分的生态过程的研究相对较少,且多集中于植物的水分利用方式、利用效率、根系对水分的吸收^[9,10]与调节作用^[11,12],以及不同土地利用方式对土壤水盐分布规律的影响^[13,14]等。

干旱区相关研究揭示,土壤水分是控制植物吸收根垂直分布的关键因子^[15,16],而植物根系分布和水分吸收易导致土壤含盐量变化^[17,18],但群落中植物根系水平方向的异质性分布及其与土壤中水分、盐分空间梯度的相互关系,以及不同植物根系间的空间关系的研究却较少。

本文选择位于宁夏回族自治区平罗县西大滩的发育于碱性龟裂土的沙枣-芨芨草植物群落为研究对象,研究了土壤中水、盐的分布特征及植物根系的空间分布格局,以期探讨干旱半干旱区植物群落根系分布对土壤中水、盐再分配的影响及其对于旱生境的适应机制。

1 研究地概况

研究地位于宁夏回族自治区的平罗县西大滩镇(106°20'E, 38°45'N),南距银川市 60 km,西接贺兰山,东濒黄河,海拔 1100 m,全年主要受西北来的干冷空气控制,为典型的大陆性气候,属中温带半干旱荒漠地区。该地区年平均日照时数 2800~3200 h,干旱少雨,多风,蒸发量大,冬季寒冷漫长,夏季炎热短促,昼夜温差大,无霜期短,年平均气温在 4.7~8.1℃之间,年均降水量约 187.2 mm,降水年际、月际分配不均,多雨年的降水量是少雨年的 3~4 倍,而蒸发量是降水量的 9.8 倍,土壤盐碱化严重。域内农田引黄灌溉,地下水埋深较浅,约 2 m。西大滩主要非耕种土壤为白僵土(龟裂碱土),高度碱性,弱度盐化,钙的有效性低,有机质含量极低,土壤遇水高度分散,透气、通水性差^[6,19]。

2 研究方法

2.1 样地设置及群落特征

样地设置于沙枣(*Elacagnus angustifolia*)-芨芨草(*Achnatherum splendens*)群落,其中沙枣因自身生理特性,能避免更多的盐分进入体内,具有较强的耐盐能力,而芨芨草为典型的拒盐植物^[20]。在样地中设置一个 50 m×50 m 的样方,调查每株(丛)植物的高度、胸径(草本为地径)、冠幅,并记录相对坐标。经调查,该群落中沙枣平均树高 8.5 m,平均胸径 32.0 cm,芨芨草平均高 44.1 cm,平均丛径 7.1 cm,密度为 8.4 丛/m²,群落总盖度 85.5%,乔木层冠层投影盖度 38.5%。该群落中沙枣树系人工栽植,但造林后经近 40a 的自然演替,已形成了相对稳定的乔草型群落结构,在西北人工造林的荒漠区有一定的代表性^[17,18]。样地土壤为白僵土,因植物生长改造已较疏松,壤质较发育,有机质含量较高,根区土壤稳渗率为 10.4 mm/h^[6,19],空旷地土壤透水性较差。

2.2 根系生物量的测定

于 2006 年 10 月下旬,即该地区生长季末期,对沙枣-芨芨草群落进行根系生物量测定。期间一般较少降

雨,植物生长也逐渐停止,土壤中水分、盐分状况相对稳定,利于工作开展。沙枣冠层对群落中林下植物的形态及空间格局有显著影响,使得芨芨草以沙枣为中心呈斑块状分布^[19],因此本文以沙枣立木的根部为中心,以辐射状向空旷地设置若干梯度带;因沙枣树个体大小不一,冠幅不等,选择相应立木冠幅(直径)的20%为单位依次设定采样带,即冠幅梯度带(crown gradient zones)^[19],并分别命名为Z1,Z2,⋯Z8(图1),每带中随机设5个深度为1.5 m,长宽为1 m×1 m的土壤剖面,利用分层挖掘法采集土样并测定地下生物量^[17,21]。

根系生物量测定:齐地表剪除植株地上部分,从地表垂直向下分别在0~10 cm、10~30 cm、30~60 cm、60~100 cm、100~150 cm 5个层次分层取样,1.5 m以下植物根系较少,未予挖掘。对每层土壤过筛取全部根系,带回室内测定。植物根系一般可分为输导根和吸收根2类,一般直径≥2 mm的根系为输导根,主要起输导水分及养分的作用,直径≤2 mm的根系为吸收根,主要进行水分和营养物质的吸收^[22,23]。本文采用标尺及目测的方法将根系分为3类,即沙枣粗根(直径≥2 mm)、沙枣细根(直径≤2 mm)和芨芨草根(直径≤2 mm),分类检出并清洗去除泥沙杂物、死根后,在85℃下烘干至恒重,数据表示为平均值±标准误。

2.3 土壤理化指标的测定

在土壤剖面内分别采集表土层以及深度为0~10 cm、10~30 cm、30~60 cm、60~100 cm、100~150 cm共6个层次的土样,每层取3个重复,以环刀法测土壤容重,以分层混合土样测定各层土壤的理化指标。数据表示为平均值±标准误。

土壤含水率测定采用烘干法。用环刀法取土,土壤样品装于铝盒在105℃条件下烘干至恒重,称重并计算出相应土层的土壤含水率^[22]。

土壤盐分测定,采集的土样带回实验室内自然风干,剔除杂质、研磨、过100目筛后备用。所有的土样均制备1:5土水比浸提液,用标准DDS-11AT型电导率仪测定土壤溶液的电导率,以表征土壤的含盐量^[24]。

3 结果与讨论

3.1 根系生物量的梯度分布

植物根系在土壤中的分布与植株的相对位置关系密切,本文按冠幅梯度带分别计算根系在各梯度带的分布。结果显示,沙枣根系与芨芨草根总生物量的分布存在显著的以沙枣立木为中心的梯度分布(图2),在立木根区根系总生物量与吸收根生物量最高,向外则依次降低。Z1带根系总生物量密度达到1719.77 g/m³,随着从Z1带逐渐外扩到冠幅投影边缘区的Z3带,总生物量密度迅速下降,在Z4~Z8带则相对趋于平缓。植物吸收根生物量沿冠幅梯度带呈现出与植物根系总生物量相对一致的梯度分布,但带间变化较小且相对连续(图2)。与根系生物量沿冠幅梯度带的分布相比,根系生物量在各梯度带的垂直分布状况要相对复杂(图3)。

一般地,植物根系生物量的分布往往随土壤深度的增加而递减^[17,25],但图3揭示,群落根系生物量在不同冠幅梯度带土壤中的层次分布存在明显的差异性。在Z1带,植物吸收根集中分布于土壤0~10 cm深的表浅层,随着土壤深度的增加,根系生物量逐渐减少,而在Z2~Z4带,30~100 cm深土层的吸收根生物量密度高于0~30 cm土层,在Z5~Z7带,60~100 cm深土层的吸收根生物量密度又高于10~60 cm土层,总体上呈地下根系集中分布层次离立木越远埋深越深的趋势。

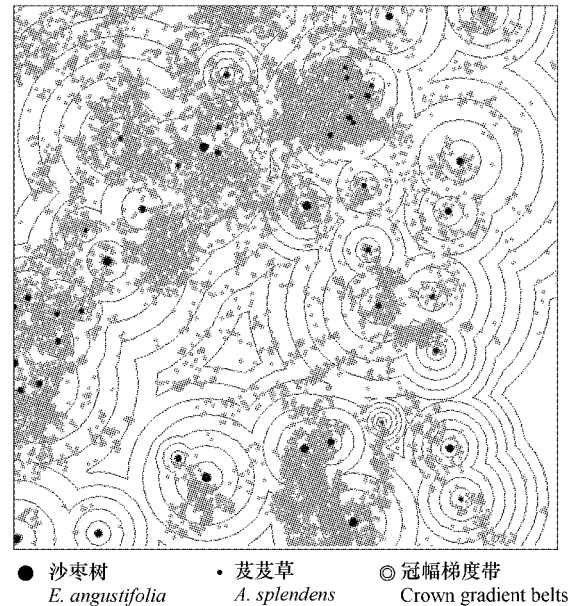


图1 冠幅梯度带分析

Fig. 1 The sketch of crown gradient zones analysis

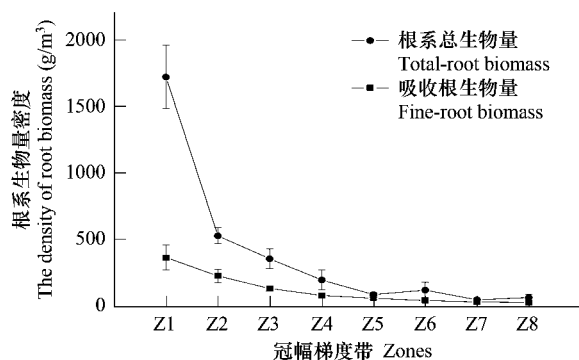


图2 冠幅梯度带植物根系生物量密度

Fig. 2 The density of root biomass in different depth along the crown gradient zones

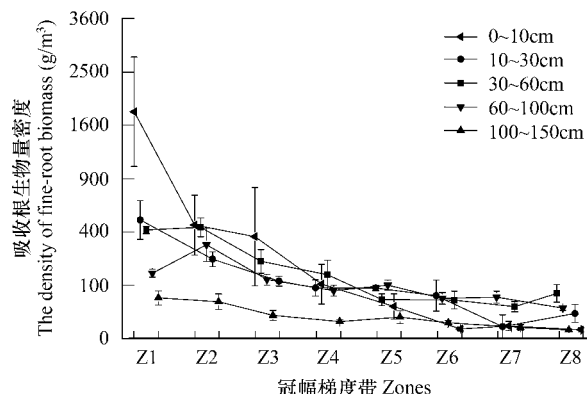


图3 各梯度带不同层次吸收根生物量密度

Fig. 3 The density of fine-root biomass in different depth along the crown gradient zones

比较沙枣吸收根与芨芨草吸收根在各冠幅梯度带与垂直梯度的分布特征(表1)发现,Z1~Z5带,群落中沙枣吸收根的集中分布区域为30~100 cm中等深度的土壤层次,较深或较浅土壤层次中根系生物量密度相对较小,而芨芨草的根系则主要分布于0~30 cm深的表浅层土壤。Z6~Z8带,两物种根系密集分布的层次发生了变化,沙枣吸收根分布层次上移,而芨芨草根系密集分布层次下移。特别在Z6带,沙枣根系生物量密度较高的层次由Z5的60~100 cm层次上升到Z6的10~30 cm层次,而相应的芨芨草根系密集分布区则罕见地由0~10 cm下移至60~100 cm层次。有文献指出,邻近植物的根系重合少,从而达到根系错位利于竞争平衡的目的^[16,26]。由表1可以看出,尽管不同冠幅梯度带间两物种根系密集分布层次有一定变化,沙枣与芨芨草吸收根生物量密度最高的层次在所有梯度带中均不重合,表现出明显的种间根系密集分布区的分离。

表1 沙枣-芨芨草吸收根的生物量密度

Table 1 The density of fine-root biomass of *E. angustifolia* and *A. splendens*

植物 Plants	土壤层次 Depth of soil	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7	Z8
<i>E. angustifolia</i>	沙枣 0~10cm	108.68 ± 28.84	123.80 ± 63.21	83.80 ± 50.66	30.80 ± 23.71	24.05 ± 14.92	3.98 ± 1.42	0.10 ± 0.02	0.90 ± 0.18
	10~30cm	344.84 * ± 120.37	130.71 ± 42.21	88.22 ± 25.62	81.47 ± 34.38	57.21 ± 20.15	90.71 * ± 57.88	55.55 * ± 29.13	21.51 ± 9.96
	30~60cm	326.35 ± 29.90	348.65 * ± 67.47	212.75 * ± 67.42	163.42 * ± 86.00	42.01 ± 8.05	47.35 ± 16.59	30.55 ± 15.45	73.01 * ± 24.05
	60~100cm	127.43 ± 14.28	254.80 ± 89.65	113.28 ± 22.32	75.43 ± 15.12	79.41 * ± 9.25	43.67 ± 13.25	53.97 ± 14.58	29.66 ± 4.08
	100~150cm	44.78 ± 12.81	32.90 ± 17.33	16.00 ± 7.10	8.22 ± 1.44	7.88 ± 2.99	5.59 ± 1.69	3.89 ± 1.69	2.88 ± 0.74
<i>A. splendens</i>	芨芨草 0~10cm	2120.82 * ± 1008.36	391.65 * ± 207.62	513.70 * ± 364.04	138.80 * ± 70.90	46.75 * ± 15.23	0.85 ± 0.37	19.40 * ± 3.88	2.25 ± 0.63
	10~30cm	202.61 ± 75.57	81.01 ± 53.01	31.32 ± 10.27	18.07 ± 6.17	33.88 ± 14.18	8.96 ± 2.75	13.99 ± 5.41	11.77 * ± 8.72
	30~60cm	90.78 ± 25.55	35.29 ± 15.84	21.00 ± 8.07	9.24 ± 4.05	16.26 ± 12.28	16.01 ± 10.39	8.95 ± 2.79	9.44 ± 4.44
	60~100cm	24.97 ± 10.22	32.80 ± 12.71	13.15 ± 4.38	9.59 ± 4.72	24.45 ± 14.86	18.03 * ± 5.39	14.29 ± 5.77	4.50 ± 1.52
	100~150cm	20.65 ± 8.03	12.36 ± 5.20	6.63 ± 3.93	2.53 ± 1.09	14.34 ± 10.55	4.69 ± 1.91	1.08 ± 0.35	0.57 ± 0.18

* 表示各梯度带所含吸收根生物量密度最高的土壤层次 indicate the soil layers with maximum density of fine-root biomass along crown gradient

zones

关于 Z6 ~ Z8 带沙枣吸收根根系生物量高密度层次的上移,张琴妹等(2007)曾推测 Z6 带可能是沙枣根系的末端区,并认为沙枣末端须根上升可能是该带芨芨草地上部分丛径、冠幅、高度非线性变化原因,本文研究结果表明,Z6、Z7 带沙枣吸收根系生物量高密度区上移,总根量迅速下降,与张琴妹等(2007)的推测一致。

3.2 土壤含水率的梯度分布

土壤含水率一般受天气状况影响较大,特别是表浅层,但在较小空间的相对均质的土壤条件下,土壤含水率的空间异质性往往受群落中植物地上部分及地下根系分布的异质性的影响^[27,28]。地表太阳辐射强度直接受地上部分植物荫蔽的影响并进而导致表浅层土壤水分的蒸发,而地下根系密度的差异则直接导致对土壤水分的差异性吸收。在干旱区,降雨量相对于蒸发量小得多,每次降雨量也相对较小,该群落位于黄河河套地区,地下水埋深约 2 m,群落中植物生长所需水分中的部分有赖于地下水的补充,降雨仅在部分季节能满足植物生长的需要。植物根系吸收或蒸发过程所导致的土壤水分耗损是土壤中水分运动的主要形式,但不同深度及不同梯度带,因地上荫蔽及地下生物量密度分布的空间异质性,可能导致土壤中水分含量的层次间、区带间的差异性。

比较各土壤层次在不同区带的土壤含水率,发现离沙枣立木着生区越远,各层次土壤的含水率越高,但不同层次间土壤含水率沿冠幅梯度带的变化程度存在差异(图 4)。在 0 ~ 10 cm 层次的冠幅垂直投影区的土壤含水率较小,随着与沙枣立木距离的增加,土壤含水率呈逐渐增加趋势,但到 Z7 ~ Z8 带则略有下降。

比较不同梯度带土壤含水率的垂直分布,发现 0 ~ 10 cm 的浅层土壤含水率显著低于以下各层,10 cm 以下各层的土壤含水量相对复杂。在 Z1 ~ Z3 带,10 cm 以下各层的含水率均较低,层间绝对差异较小,外延至 Z7 ~ Z8 带,各层土壤含水率均有显著升高,绝对差异也显著上升。对比各带不同层次间土壤含水率的垂直梯度,发现各带水分含量梯度也明显不同。在 Z1 ~ Z6

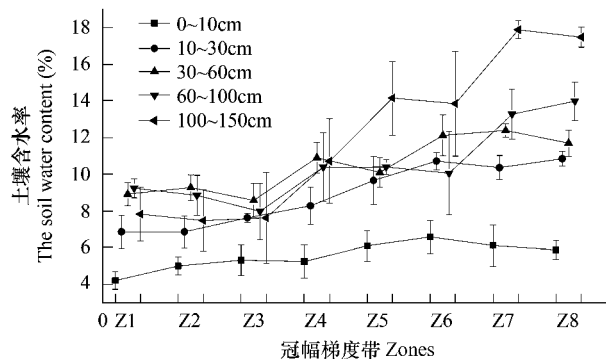


图 4 各梯度带不同层次土壤含水率

Fig. 4 The soil water content in different depth along the crown gradient zones

带,均出现了下层土壤含水率低于上层的现象,仅 Z7 ~ Z8 土壤含水率随土壤埋深的增加其土壤含水率逐渐升高,与一般地土壤含水量随土壤深度的增加而增加,并且随着深度的增加土壤含水量的变化幅度减小的规律并不一致^[29]。

不同区带中植物根系的垂直分布差异性可能是土壤中水分垂直分布出现下层低于上层现象及各层次带间含水率差异的重要原因。在 Z1 ~ Z3 带,0 ~ 10 cm 土层分布有大量芨芨草吸收根,10 ~ 30 cm 层次沙枣吸收根的生物量密度相当高,总体上表浅层根系生物量密度显著高于外围各带,导致 Z1 ~ Z3 带虽然受林木荫蔽作用水分蒸发低于外围各带,但该区域表浅层土壤含水率仍低于外围各带相应层次的土壤含水率。随着环带的外扩,植物根系的密度逐渐减少,表土水分蒸发逐渐成为土壤水分上行的主要途径,至植物盖度极低的 Z7、Z8 带,无论是沙枣还是芨芨草都已很少分布,植物根系对水分的吸收作用微弱,土壤含水率垂直分布主要受地表蒸发影响,从而呈现随着土壤深度的加深,土壤含水率逐渐升高的梯度分布。

3.3 土壤含盐量的梯度分布

通常在高度盐渍化的土壤中,表层土壤的含盐量明显高于其他土层,盐分表聚作用明显^[30]。比较各梯度带的土壤溶液电导率发现(图 5),除 Z2 带 10 ~ 30 cm 层次土壤溶液电导率高于 0 ~ 10 cm 层次,其余各带土壤溶液的电导率均随土壤深度的增加而下降。在 0 ~ 10 cm 土层土壤溶液电导率最高,水平梯度带间的差异也最大;该层在林冠下的 Z1 ~ Z2 带的土壤溶液电导率显著低于冠层投影区外的 Z3 ~ Z8 带。10 ~ 30 cm 层次土壤溶液电导率虽也显著高于以下各层,但不同带间的差异性相对较为一致;而 30 cm 以下各层则表现出相

对一致的梯度分布,位于冠幅边缘区的 Z3 带土壤溶液的电导率最低,从 Z3 带向沙枣立木及空旷地两个方向土壤溶液的电导率均逐渐增高。

土壤中盐分的积累是盐分通过地下水分运动进行再分配的结果^[1,24]。土壤水分主要通过沿水势梯度的扩散及植物根系的吸收而运动,植物根系分布影响土壤中水分盐分的梯度分布,同时土壤中水分和盐分的梯度格局也影响根系在土壤中的分布^[31]。该地区降雨量远小于蒸散发,地下水的补充是该地区植被消耗水分的重要来源,降雨只能补充部分浅根系物种的阶段性水分需求,地下水经植物吸收及表土蒸发而上行,导致该地区土壤中含盐量普遍较高。群落中由于上层林木覆盖的不连续性,地下根系分布的异质性,造成了群落中不同冠幅梯度带土壤中植物吸收与水分沿水势梯度的扩散分别发挥不同的作用。

该样地冠幅投影区植物根系密集,土壤层间水分梯度差异较小,地下水通过毛管作用上行势必弱于外部各带,且表浅层受林木荫蔽作用影响,蒸发导致的土壤水分蒸发相对较少,从而影响土壤中盐分的上行表聚,可能直接导致冠层投影区土壤溶液电导率较低。而在较深层次根系分布相对密集,因沙枣根系具吸水拒盐特性,导致较深层次形成盐分的相对积聚,土壤溶液电导率高于相应层次的其他各带。

沿冠层梯度带由立木着生区向空旷地,乔木层荫蔽作用逐渐减小,根系生物量的密度依次下降,土壤中不同层次间水分含量的梯度也逐渐增大,土壤中植物根系对水分的吸收相对减少,而表浅层蒸发导致的土壤水分上行比重增加,加强了土壤中盐分的表聚作用,导致土壤中各层次盐分含量上升,表浅层盐分含量更高。不过在 Z8 带,表浅层土壤溶液的电导率低于 Z5 ~ Z7,究其原因,该区带植物盖度极低,土壤中根系最少,相应的土壤为非壤质化的透水性较差的白僵土,10 ~ 30 cm 土层含水率与 30 ~ 60 cm 土层含水率相当接近,土壤水分上行受阻,可能是导致表浅层土壤溶液电导率相对较低的重要原因。

冠幅边缘区的 Z3 带,从水分的分布特征看(图 3),该带 30cm 以下含水量为低谷,说明该带大量的水分被冠层下的根系吸收,随着水分的被吸收,盐分随水分向冠层下运移并滞留,形成 Z3 ~ Z1 土壤溶液电导率逐渐增高的梯度;同时,随着与冠幅投影区距离的增加,根系生物量分布减少,蒸散发对盐分的表聚作用逐渐加强,形成 Z3 ~ Z8 土壤溶液电导率逐渐增高的梯度,导致 Z3 带土壤溶液电导率成为深层土壤的低谷(图 5)。

4 结论

本文通过研究不同深度土层植物根系生物量、土壤水分、土壤溶液电导率沿冠幅梯度带的空间变化,对位于宁夏半干旱区的乔-草型植物群落根系的空间分布规律及其对土壤含水率、电导率的影响进行了研究,结果表明:

(1)群落中植物总根系生物量存在以沙枣立木为中心,向空旷地递减的分布格局,同时发现,沙枣芨芨草吸收根生物量密度最高的土壤埋深随与沙枣立木距离的增加而增加。比较沙枣与芨芨草根生物量,发现总体上芨芨草根生物量密度较高的土壤层次较沙枣浅,但离立木主干较远的空旷地,沙枣吸收根生物量密度较高的土壤层次较芨芨草浅,两个主要物种根系生物量密度较高的层次不重叠,表现出明显的种间根系密集分布土壤层次在空间上的相互分离。

(2)土壤含水率总体上随以立木根区为起点的 Z1 带向空旷地 Z8 带递增,但在不同土层中的变化趋势因梯度带的相对位置而变化。在立木根区,各层次的土壤含水率均较小,层间差异也较小,随着与立木根区距离的增加,其层间差异逐渐变大。在 Z1 ~ Z6 带,由于植物根系生物量密度较大且埋深较深,导致下层土壤含水率低于上层土壤含水率,出现逆含水率梯度层,而空旷地植物根系生物量较小,根系吸水占土壤中水分散失的

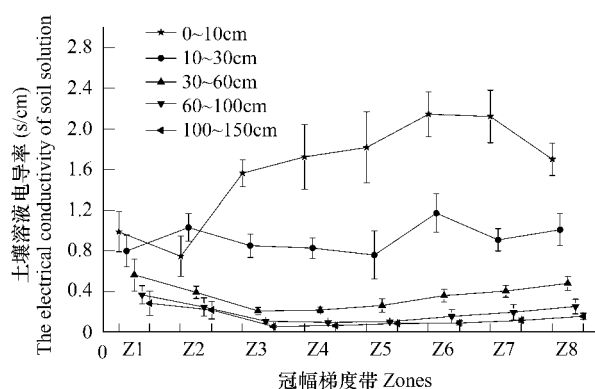


图 5 各梯度带不同层次土壤溶液电导率

Fig. 5 The electric conductivity of soil solution in different depth along the crown gradient zones

比例渐小,土壤含水率随土壤埋深的增加而升高,地表蒸发导致表浅层土壤含水率低于较深层次。

(3)各区带土壤溶液的电导率总体上随土壤深度的增加而依次下降,但各层次在不同区带间有不同的变化趋势。其中0~10 cm 土层土壤溶液电导率较高,且该层在冠层垂直投影区的Z1~Z3带土壤溶液的电导率最低,随离树干距离的增加而增大;各梯度带间在10~30 cm 层次土壤溶液的电导率相对一致,但以下各层则以Z3带为低点,向沙枣根侧、空旷地侧两向依次递增。表明在非冠层投影区乔木冠层遮荫较少,蒸发量高,盐分表聚作用强烈,而沙枣冠幅投影区表聚作用虽小,表浅层土壤溶液电导率较同一层次外围各带低,但土壤中根系生物量密度高,冠幅边缘区的Z3带大量水分被吸收,盐分则随水分向冠层下运移并滞留,形成土壤溶液电导率在深层土壤的低谷。植物根系的吸水拒盐与土壤水分上行形成的盐分表聚作用是该样地土壤剖面中含盐量变化的两个主要原因。

References:

- [1] Sang Y L. Formation properties and characteristics of alkalized soil in The Hetao irrigation district of Nei Mongol. *Acta Pedologica Sinica*, 1996, 33 (40): 398—404.
- [2] Ramsis B, Salama, Robert W, *et al.* Contributions of groundwater conditions to soil and water salinization. *Hydrogeology Journal*, 1999, 7: 46—64.
- [3] Shi W J, Wang Z R, Shen B, *et al.* Soil capillary water upward movement from sand layered soil column. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2004, 18(6): 167—170.
- [4] Zhang W Z. The relationship between vegetation degeneration and soil salinization in an *aneurolepidium chinense* grassland of Song-Nen Plain. *Acta Phytocologica Sinica*, 1994, 18(1): 50—55.
- [5] Qiao X Y, Wang W K, Jiang G H. Study on ecological function of groundwater in northwest arid inland basin. *Water Resources Protection*, 2005, 21(5): 6—10.
- [6] Zhang C, Zhang M J, Xu C, *et al.* Analysis of aggregation in desert plant species in sand lake, Ningxia autonomous region, China. *Journal of Plant Ecology*, 2007, 31(1): 32—39.
- [7] Wu X P, Zheng Y, Ma K P. Population distribution and dynamics of *Quercus liaotungensis*, *Fraxinus rhynchophylla* and *Acer mono* in Dongling Mountain, Beijing. *Acta Botanica Sinica*, 2002, 44(2): 212—223.
- [8] Hitoshi Sakio. Effects of natural disturbance on the regeneration of riparian forests in a Chichibu Mountains, central Japan. *Plant Ecology*, 132 (2): 181—195.
- [9] Jackson R B, Sperry J S, Dawson T E. Root water uptake and transport: using physiological processes in global predictions. *Trends Plant Science*, 2000, 5: 482—488.
- [10] Burgess S S O, Adams M A, Turner N C, *et al.* Tree root: conduits for deep recharge of soil water. *Oecologia*, 2001, 126: 158—165.
- [11] Liu M Z, Sun J X, Jiang G M, *et al.* Hydraulic redistribution in plant-soil systems. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(5): 1550—1557.
- [12] Brooks J R, Meinzer F C, Coulombe R, *et al.* Hydraulic redistribution of soil water during summer drought in two contrasting Pacific Northwest coniferous forests. *Tree Physiology*, 2002, 22: 1107—1117.
- [13] Shanyengana E S, Seely M K, Sanderson R D. Major-ion chemistry and ground-water salinization in ephemeral floodplains in some arid regions of Namibia. *Journal of Arid Environments*, 2004, 57(2): 211—223.
- [14] Martin K chy, Scott D W. Semiarid grassland responses to short-term variation in water availability. *Plant Ecology*, 2004, 174: 197—203.
- [15] Zhou Z C, Shanguan Z P. Vertical distribution of fine roots in relation to soil factors in *Pinus tabulaeformis* Carr. forest of the Loess Plateau of China. *Plant Soil*, 2007, 291: 119—129.
- [16] Hipondoka M H, Aranibar J N, Chirara C, *et al.* Vertical distribution of grass and tree roots in arid ecosystems of Southern Africa: niche differentiation or competition. *Journal of Arid Environment*, 2003, 54: 319—325.
- [17] Yu W T, Yu Y Q. Advances in the research of underground biomass. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2001, 12(6): 927—932.
- [18] Xi J B, Zhang F S, Chen Y, Mao D R, *et al.* A preliminary study on salt contents of soil in root-canopy area of halophytes. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(1): 53—58.
- [19] Zhang Q M, Zhang C, Liu M S. The influences of arboraceous layer on spatial patterns and morphological characteristics of herbaceous layer in an arid plant community. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(4): 1265—1272.
- [20] Zhao K F, Feng L T. Halophytes plant. Resource of halophytes in China. Beijing: Science Press, 1999. 213—214.
- [21] B hm W. Methods of Studying Root Systems. Berlin: Springer-Berlag, 1979.

- [22] Wei L Y, Shangguang Z P. Relationship between vertical distribution of root in different successional stages of herbaceous vegetation and soil environment in Loess Plateau. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(11): 3740—3748.
- [23] Hao Z Y, Yang P L, Liu H L. Experimental investigation on root system distribution of apple tree. *Journal of China Agricultural University*, 1998, 3(6): 63—66.
- [24] Liu G M, Yang J S. Study on the correlation of soil salt content with electric conductivity and soil water content. *Chinese Journal of Soil Science*, 2001, 32(6): 85—87.
- [25] Schenk H. Vertical vegetation structure below ground: scaling from root to globe. *Progress in Botany*, 2005, 66: 341—373.
- [26] Chen W, Xue L. Root interactions: competition and facilitation. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(6): 1243—1251.
- [27] David R T, Andrew B C. Manipulation of density of *Pseudotsuga menziesii* canopies: preliminary effects on understory vegetation. *Canadian Journal of Forest Research*, 2001, 31(9): 1513—1525.
- [28] Russell L S, Watts C. The understory and overstory partitioning of energy and water fluxes in an open canopy, semiarid woodland. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2003, 114: 127—139.
- [29] Qiu Y, Fu B J, Wang J, *et al.* Spatial heterogeneity of soil moisture content on the Loess Plateau, China and its relation to influence factors. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2001, 12(5): 715—720.
- [30] Yang J S, Yao R J, Liu G M, *et al.* Spatial variability of soil salinity in the Yellow River Delta and its estimation by CoKriging method. *Arid Zone Research*, 2006, 23(3): 439—445.
- [31] David D B, Fairley J B. Interrelationships between plant functional types and soil moisture heterogeneity for semiarid landscapes within the grassland/forest continuum: a unified conceptual mode. *Landscape Ecology*, 1999, 14: 465—478.

参考文献:

- [1] 桑以琳. 内蒙古河套灌区碱化土壤的发生原因和特性. *土壤学报*, 1996, 33(40): 398~404.
- [3] 史文娟, 汪志荣, 沈冰, 等. 夹砂层土体构型毛管水上升的实验研究. *水土保持学报*, 2004, 18(6): 167~170.
- [4] 张为政. 松嫩平原羊草草地植被退化与土壤盐渍化的关系. *植物生态学报*, 1994, 18(1): 50~55.
- [5] 乔晓英, 王文科, 姜桂华. 西北干旱内陆盆地地下水生态功能的探讨. *水资源保护*, 2005, 21(5): 6~10.
- [6] 张程, 张明娟, 徐驰, 等. 宁夏沙湖几种主要荒漠植物成丛性分析. *植物生态学报*, 2007, 31(1): 32~39.
- [11] 刘美珍, 孙建新, 蒋高明, 等. 植物-土壤系统中水分再分配作用研究进展. *生态学报*, 2006, 26(5): 1550~1557.
- [17] 宇万太, 于永强. 植物地下生物量研究进展. *应用生态学报*, 2001, 12(6): 927~932.
- [18] 郝金标, 张福锁, 陈阳, 等. 盐生植物根冠区土壤盐分变化的初步研究. *应用生态学报*, 2004, 15(1): 53~58.
- [19] 张琴妹, 张程, 刘茂松, 等. 干旱区群落乔木层对草本层空间格局及形态特征的影响. *生态学报*, 2007, 27(4): 1265~1272.
- [20] 赵可夫, 冯立田. 中国盐生植物资源. 北京: 科学出版社, 1999. 213~214.
- [22] 韦兰英, 上官周平. 黄土高原不同演替阶段草地植被细根垂直分布特征与土壤环境的关系. *生态学报*, 2006, 26(11): 3740~3748.
- [23] 郝仲勇, 杨培岭, 刘洪禄, 等. 苹果树根系分布特性的试验研究. *中国农业大学学报*, 1998, 3(6): 63~66.
- [24] 刘广明, 杨劲松. 土壤含盐量与土壤电导率及水分含量关系的试验研究. *土壤通报*, 2001, 32(6): 85~87.
- [26] 陈伟, 薛立. 根系间的相互作用——竞争与互利. *生态学报*, 2004, 24(6): 1243~1251.
- [29] 邱扬, 傅伯杰, 王军, 等. 黄土丘陵小流域土壤水分的空间异质性及其影响因子. *应用生态学报*, 2001, 12(5): 715~720.
- [30] 杨劲松, 姚荣江, 刘广明, 等. 黄河三角洲地区土壤盐分空间变异性及其 CoKriging 估值. *干旱区研究*, 2006, 23(3): 439~445.